

NOTE SUR LA FERTILITÉ DES SOLS DES POLDERS DE BOL APRÈS DIX ANNÉES DE MISE EN CULTURE

par

C. CHEVERRY*

avec la collaboration technique de **R. Sayol**

RÉSUMÉ

Chacun des polders de Bol constitue une cuvette, dont le fond est à une altitude inférieure, de 3 à 4 m, à la cote actuelle du lac Tchad. Une nappe d'eau, alimentée par des infiltrations, est partout présente à faible profondeur, et cette eau est plus ou moins salée. Dix années de culture "traditionnelle" (irrigation avec l'eau de la nappe phréatique, pas de drainage, aucune maîtrise du plan d'eau, aucun apport d'engrais) ont entraîné une diminution de fertilité des sols. Dans cette note, les phénomènes de salinisation progressive de la nappe et des sols, de diminution des réserves organiques et chimiques des sols sont passés en revue et des indications sur leur vitesse sont fournies. Enfin, une carte des aptitudes culturales des divers secteurs de chacun des deux polders dans les années à venir est proposée.

SUMMARY

Each of the polders of Bol is a closed basin, the bottom of which is about 3 or 4 meters less high than the present level of Lake Chad. A ground-water, fed by infiltrations, is present everywhere, often close to the surface and this water is more or less salted. Ten years' traditional cultures (irrigation with the phreatic water, no draining, no control of the ground-water, no adding of fertilizers) have caused a diminution of the fertility of the soils. In this short report, the phenomena of progressive salinization of water and soils, of diminution of the organic and chemical reserves of the soils are examined and indications about their speed are given. At last, a map of the agronomic aptitudes of the different areas of each of the two polders during the future years, is proposed.

* Chargé de recherches ORSTOM, Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy.

I - INTRODUCTION

Les barrages qui permirent l'assèchement des polders de Bol, sur la rive nord du lac Tchad, furent construits en 1951 (Bol-Guini) et 1954 (Bol-Bérim). Depuis lors, chaque année, des cultures de blé, de maïs, de mil "ligui" furent entreprises avec succès par les agriculteurs locaux, sur les riches terres exondées. Cette note se propose de tenter un bilan de la fertilité de ces terres, en 1966, après plus de dix années de culture "traditionnelle", c'est-à-dire sans drainage des eaux et sans apport d'engrais.

Il apparaîtra ainsi que, durant cette période :

- le niveau des réserves en matière organique et en éléments chimiques (N, P,) de ces sols a diminué de façon sensible ;
- le niveau de salinité, dans certains secteurs, a dépassé le seuil au-delà duquel la culture des céréales devient très difficile.

Mais il apparaîtra également qu'un autre obstacle s'est, lui aussi, opposé jusqu'alors à une mise en valeur plus complète des polders : la présence à très faible profondeur d'un plan d'eau difficile à maîtriser.

Dans le cas où le système de culture traditionnel serait conservé dans les années à venir, l'expérience des dix années passées autorise quelques remarques, qui seront présentées en conclusion de cette note, sous la forme d'une classification des sols de ces polders en quatre catégories, d'après les perspectives d'utilisation agronomique qu'ils offriront dans les années à venir.

Par ce biais, cette note se propose donc d'éclairer un peu le problème de l'urgence éventuelle que présente la mise en place dans ces polders d'un aménagement hydro-agricole de type : système d'irrigation avec les eaux du lac Tchad, système de drainage avec rejet des eaux dans ce même lac.

Les données qui ont permis la rédaction de cette note sont extraites des travaux des pédologues O.R.S.T.O.M. depuis 1955, en particulier ceux de GUICHARD-BOUTEYRE-LEPOUTRE (5) pour la période 1955-1958, puis ceux de PIAS (6, 7, 8) pour la période 1959-1963, et enfin de nos propres travaux (3) depuis 1964. Signalons également les données et observations fournies par les travaux de la SOGETHA (11) et par ceux de DIELEMAN-DE RIDDER (4).

2 - LA MAITRISE DU PLAN D'EAU

2.1 - Importance agronomique de cette maîtrise

L'atout agronomique majeur de ces terres, outre leur fertilité potentielle très élevée, est incontestablement la présence à faible profondeur d'une nappe phréatique : cette nappe entretient dans le sol une humidité favorable au développement de la graine et de la plante.

Le niveau du plan d'eau joue d'ailleurs un grand rôle dans le choix des terres cultivées : les agriculteurs ne peuvent utiliser un sol que s'il est exondé pendant au moins quatre mois chaque année (en fin de saison sèche, une culture de maïs est alors possible). Mais à l'inverse, ils ne cultivent un sol que si le niveau ne dépasse jamais une profondeur de 2,20-2,50 m. Au-delà de cette profondeur, ils le jugent trop "sec". On peut estimer que jamais plus de 60 % de la superficie des deux polders (950 ha sur 1 600) ne furent cultivés la même année, par suite de cette difficulté de maîtriser le plan d'eau.

2.2 - Le niveau du plan d'eau en 1966

Une mise au point sur la profondeur de la nappe phréatique dans les deux polders a été effectuée en juillet 1966 : 90 profondeurs de nappe furent relevées en Guini et 120 en Bérin. Ces mesures permirent de dresser une carte (Figure 1), en classant les nappes en cinq catégories : nappes d'eau libre - nappes entre 0 et 50 cm de profondeur - entre 50 et 100 cm - entre 100 et 200 cm - et, enfin, à plus de 200 cm. Les différentes surfaces furent ensuite planimétrées.

2.2.1 - POLDER GUINI

- nappe entre 0 et 50 cm : 46 % de la surface du polder (centre et centre-est).
Soit 260 ha.
- nappe entre 50 et 100 cm : 40 % de la surface : Corne sud, bordure ouest, centre-nord. Soit 230 ha.
- nappe entre 100 et 200 cm : 14 % de la surface : nord et extrême bordure ouest.
Soit 75 ha.

2.2.2 - DANS LE POLDER BERIM

- nappe d'eau libre : 14 % de la surface : nord du deuxième barrage, face au troisième barrage (extension réduite)
- nappe entre 0 et 50 cm : 35 % de la surface : centre, sud-ouest, centre-nord.
Soit 415 ha.
- nappe entre 50 et 100 cm : 32 % de la surface : ouest, nord.
Soit 380 ha.
- nappe entre 100 et 200 cm : 8 % nord. Soit 100 ha.
- nappe à plus de 200 cm : 11 % de la surface : corne nord.
Soit 140 ha.

Pour utiliser, dans un but agronomique, les pourcentages indiqués, il faut également tenir compte des variations cycliques, annuelles du plan d'eau. Ces variations sont bien connues, en particulier grâce aux travaux de PIAS (6, 7, 8). Elles seront très brièvement résumées ici : remontée brutale du niveau de la nappe dès les premières fortes pluies, en juillet ; baisse assez rapide dès la fin des pluies, en octobre-novembre ; ralentissement de cette baisse en janvier-février par suite de la crue annuelle du lac en cette période ; baisse plus forte en fin de saison sèche, avec des "pointes" vers le bas dans les secteurs fortement irrigués. L'amplitude de ces variations annuelles de niveau se situe entre 65 et 95 cm.

Les pourcentages de surface cités plus haut correspondent à des observations de juillet, alors que le niveau de la nappe est déjà remonté, par rapport à son point le plus bas de mai, de 10 à 15 cm suivant les endroits.

2.3 - Les facteurs intervenant sur le niveau du plan d'eau

Une constatation se dégage des chiffres présentés : en 1966, sur la plus grande partie de la superficie des deux polders, la nappe d'eau est encore très proche de la surface du sol : moins de 100 cm.

POLDERS DE BOL GUINI ET DE BOL BERIM
Profondeur de la nappe phréatique en juillet 1966

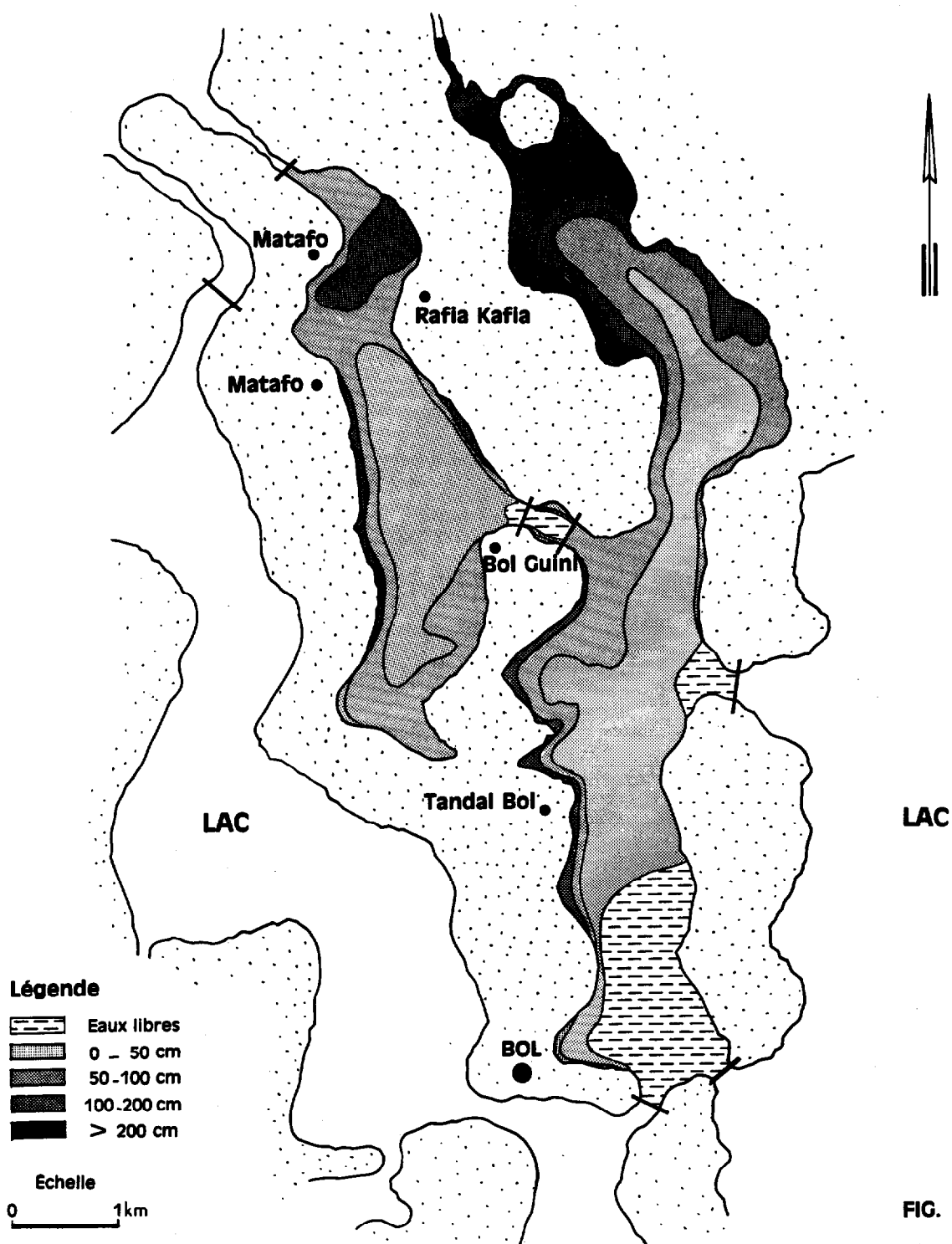


FIG. 1

Or, le niveau de cette nappe est très dépendant des conditions climatologiques ou hydrologiques. Ainsi, une pluviométrie exceptionnellement forte, une hausse du niveau du lac Tchad étalée sur plusieurs années, peuvent suffire à remettre en eau certaines parties des polders. Citons, comme exemples, la saison des pluies 1954 (700 cm) qui remit en eau la presque totalité de Guini, la crue du lac à partir de 1955 qui, dans les années suivantes, entraîna une augmentation des infiltrations d'eaux du lac vers la nappe et entretint dans les parties basses des polders des zones inondées. Entre 1954 et 1964, les conditions climatologiques et hydrologiques ont plutôt joué dans le sens du maintien d'un niveau très élevé, parfois excessif, du plan d'eau.

Par contre, depuis 1964, la tendance est renversée : une série d'années à pluviométrie faible, une baisse sensible du niveau du lac en 1965-1966, le rejet dans le lac d'eaux libres du polder grâce à des pompes installées sur les barrages, tous ces facteurs ont entraîné une baisse de niveau de la nappe, l'assèchement de parties basses, en particulier dans le polder de Bol-Bérim. Ainsi, entre mai 1965 et mai 1966, le niveau de la nappe dans le polder Guini est descendu de 10 à 15 cm, et de 20 à 25 cm pour les mois de novembre correspondants. Sans préjuger des conditions climatiques des années à venir, une baisse encore plus marquée de ce niveau paraît probable : la pluviométrie de 1966 n'a été que faible à moyenne et le niveau du lac baissera encore d'environ 20 cm entre son maximum de 1966 et celui de 1967 (communication orale de M. BILLON, O.R.S.T.O.M.).

Pendant ces trois dernières années, le pourcentage de terres non cultivées parce que submergées en permanence ou trop longtemps chaque année a, en conséquence, diminué. Mais simultanément, le pourcentage de terres non cultivées, ou cultivées une seule fois par an, parce que jugées trop "sèches" a augmenté. On note la tendance chez quelques agriculteurs de Bérim à se déplacer de leurs anciennes terres "hautes" vers les terres "basses", plus faciles à cultiver. Le phénomène s'accroîtra probablement à l'occasion de la campagne de blé 1966-1967. Une nappe phréatique à 2 ou même 3 m de profondeur ne constitue pourtant pas, du point de vue technique, un obstacle insurmontable à l'utilisation des sols.

3 - LA SALINISATION PROGRESSIVE DE LA NAPPE ET DES SOLS

3.1 - Mécanisme de cette salinisation

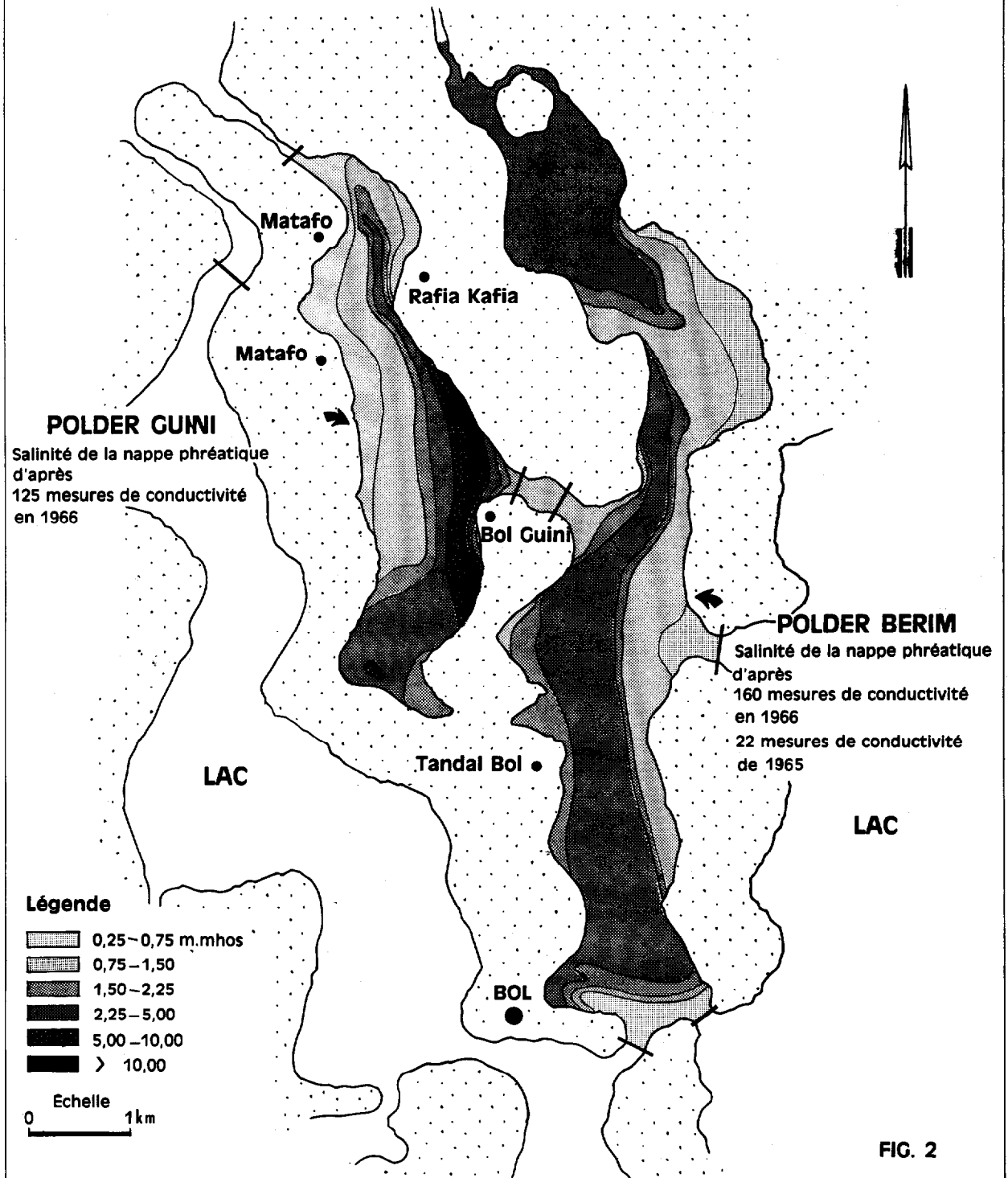
Chacun des polders constitue une cuvette isolée, fermée, dont le fond est à une altitude inférieure (de 4 m environ) à la cote actuelle du lac. Une nappe d'eau, alimentée par des infiltrations venant du lac sous les dunes, sous les barrages et par des remontées d'eaux à partir des nappes profondes, est partout présente à faible profondeur, et cette eau est légèrement salée. Dans les conditions climatiques subarides de cette région, les polders constituent donc de véritables bassins évaporatoires : par l'intermédiaire de la frange capillaire, l'eau remonte en surface, s'évapore, dépose ses sels. Le lessivage de ces mêmes sels en saison des pluies ne fait que réenticher la nappe au même point. Et le phénomène de remontée saline reprend la saison sèche suivante.

On constate effectivement, depuis dix ans, une augmentation progressive de la salinité de l'ensemble sol-nappe. Mais cette augmentation de salinité s'est produite avec une localisation géographique (à l'échelle de la superficie d'un polder) et une vitesse qui ne pouvaient guère être prévues lors de la création de ces polders. L'évolution de la salinité de la nappe entre 1958-60 et 1966 en particulier, fournit des indications précieuses.

3.2 - La salinité de la nappe phréatique en 1966

En mai, puis juillet 1966, 280 échantillons d'eaux de la nappe furent l'objet d'une mesure de conductivité (donc de salinité). Dans le système de culture traditionnel, à Bol, l'irrigation se

POLDERS DE BOL GUINI ET DE BOL BERIM **Salinité de la nappe phréatique en 1965-66**



pratique avec les eaux de la nappe elles-mêmes ; il a donc paru intéressant (ce qui avait déjà été fait par J. PIAS en 1959(6)), de classer les eaux de la nappe d'après leur aptitude à servir pour l'irrigation. La classification du laboratoire de Riverside fut choisie, ce qui permet de définir six catégories d'eaux de nappe. Dans chaque catégorie, est indiquée la superficie de chaque polder qui correspond à un tel type de nappe. La carte de salinité est représentée par la Figure 2.

1^{re} CATÉGORIE

- nappe dont l'eau a une conductivité comprise entre 0 et 0,25 m.mho ; ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation, sans précautions ; les eaux du lac Tchad se situent dans cette catégorie ; les eaux de la nappe des polders sont toujours plus salées.

2^e CATÉGORIE

- nappes dont la conductivité est comprise entre 0,25 et 0,75 m.mho ; ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation, avec quelques précautions. Superficie du polder Guini correspondant à un tel type de nappe : 19 %, soit 107 ha. dans le polder Bol-Bérin : 11 %, soit 131 ha.

3^e CATÉGORIE

- nappes dont la conductivité est comprise entre 0,75 et 2,25 m.mhos ; eaux utilisables pour l'irrigation seulement s'il y a un bon drainage. A Bol, deux sous-catégories ont été définies :
 - conductivité comprise entre 0,75 et 1,5 m.mhos
 Bol-Guini : 28 % de la superficie, soit 160 ha
 Bol-Bérin : 27 %, soit 320 ha.
 - conductivité comprise entre 1,5 et 2,25 m.mhos
 Bol-Guini : 15 % de la superficie, soit 85 ha
 Bol-Bérin : 15 %, soit 180 ha.

4^e CATÉGORIE

- nappes dont la conductivité est comprise entre 2,25 et 5,0 m.mhos : eaux inutilisables pour l'irrigation, sans dangers
 Bol-Guini : 26 % de la superficie, soit 147 ha
 Bol-Bérin : 47 %, soit 560 ha.

5^e CATÉGORIE

- nappes dont la conductivité est comprise entre 5 et 10 m.mhos : eaux très salées, inutilisables.
 Bol-Guini : 50 ha (9 %)
 Bol-Bérin : non représenté.

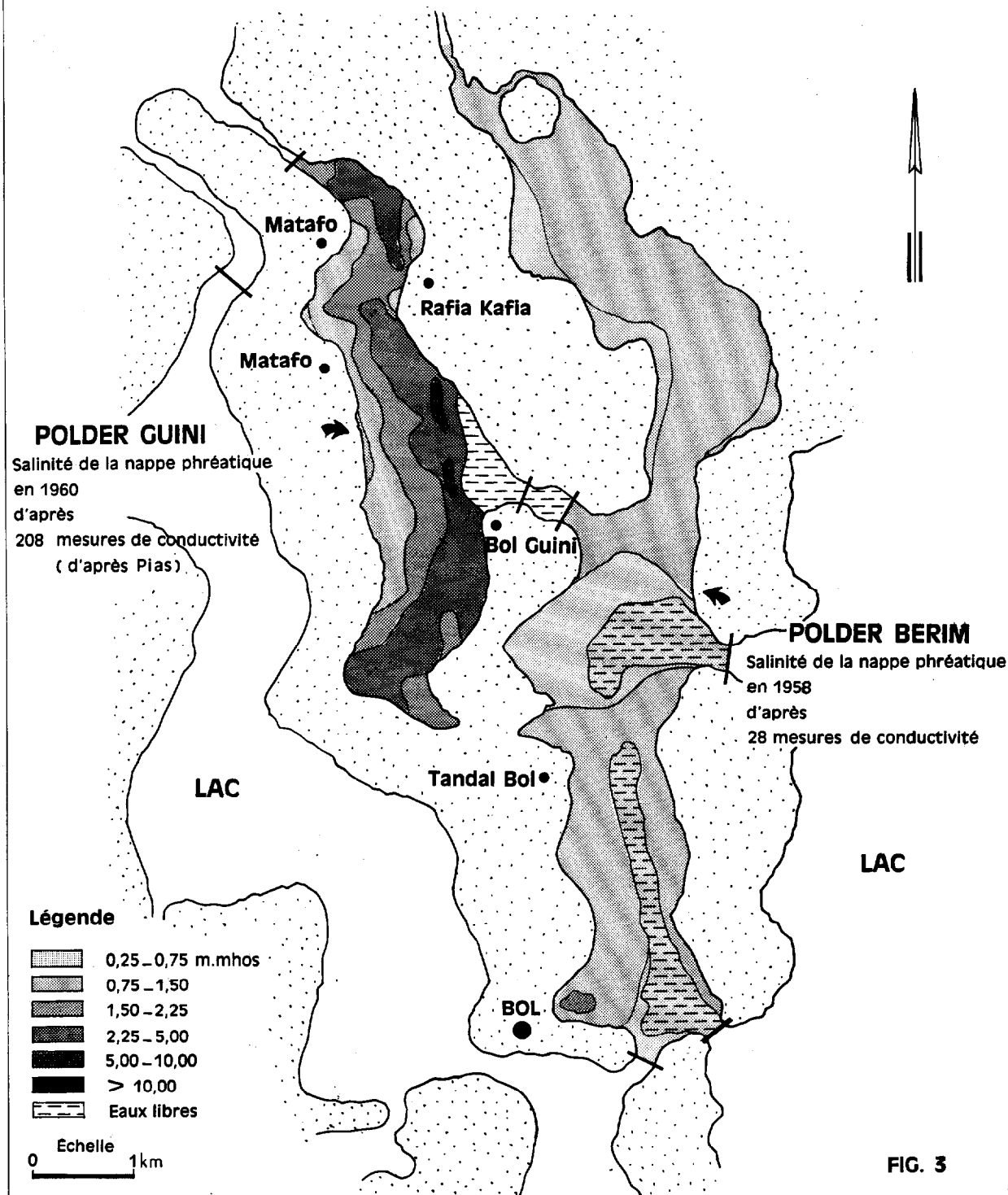
6^e CATÉGORIE

- nappes dont la conductivité est supérieure à 10 m.mhos :
 Bol-Guini : 3 % de la superficie, soit 17 ha
 Bol-Bérin : non représenté.

En appliquant ces normes, une très petite partie des polders pourrait être cultivée avec le système des "chaddoufs". En fait, dans le cas des sols de Bol, ces normes paraissent trop strictes et ceci pour deux raisons ; la première d'ordre technique : la perméabilité et la stabilité structurale de ces sols sont excellentes, de par la richesse en matière organique du matériau : un lessivage ultérieur des sels sera donc possible - la seconde d'ordre économique : à Bol on peut admettre que, pour favoriser le démarrage économique de cette région, on perde progressivement la fertilité "immédiate" des

POLDERS DE BOL GUINI ET DE BOL BERIM

Salinité de la nappe phréatique - de BOL BERIM en 1958
- de BOL GUINI en 1960



sols, sur une durée de 15 à 20 ans par exemple, sachant que la fertilité "intrinsèque" n'est qu'en partie touchée et pourra être "régénérée" en bonne part, soit par une resubmersion par les eaux du lac pendant plusieurs années, soit par la mise en place d'aménagements hydro-agricoles.

Dans cette optique, qui semble valable, les eaux des deuxième et troisième catégories peuvent être utilisées sans grand danger. Cela représente 62 % de la superficie de Guini, 53 % de la superficie de Bérin. Les superficies actuellement cultivées avec irrigation grâce à des "chaddoufs" sont bien inférieures à ces chiffres. Les eaux de la quatrième catégorie peuvent être utilisées, en sachant alors que les sols correspondants dépassent le seuil de la salinité compatible avec la culture des céréales avant 5 à 7 ans. Les eaux des cinquième et sixième catégories sont absolument inutilisables pour l'irrigation et, même en l'absence d'irrigation, les sols correspondant à ces nappes sont déjà abandonnés ou en voie de l'être.

3.3 - Évolution de la salinité de la nappe entre 1958-60 et 1966

La figure 3 représente la carte de salinité de la nappe en 1960 dans le polder de Guini (PIAS (6)), et également celle de Bérin en 1958 (BOUTEYRE, LEPOÛTRE, GUICHARD (5)). La comparaison de ces cartes avec celles de 1966, en utilisant les mêmes catégories est assez évocatrice.

3.3.1 - CAS DU POLDER DE BOL-GUINI

Dès janvier 1960, la carte de salinité de la nappe en Guini présentait des secteurs bien distincts : secteurs à nappe faiblement ou moyennement salée (conductivité inférieure à 2,25 m.mhos) sur toute la partie ouest sauf la corne sud-ouest, secteurs à nappe salée (2,25 à 5 m.mhos) sur la partie est, l'extrême-nord, la corne sud-ouest.

Il apparaît qu'entre janvier 1960 et mai-juillet 1966, la salinité de la nappe dans la partie ouest du polder n'a pas augmenté et paraît même, localement, avoir diminué ; cette même salinité a considérablement augmenté sur la bordure est (voir carte).

3.3.2. - CAS DU POLDER DE BOL-BERIM

Les données possédées sur la salinité de la nappe en Bérin en 1958-60 sont plus fragmentaires. Une carte a néanmoins été établie, et permet les comparaisons suivantes :

- la salinité de la nappe a augmenté assez régulièrement sur l'ensemble du polder, en particulier dans la zone nord. A l'opposé de Guini, c'est plutôt la partie est, la plus proche du lac qui est la moins salée. Mais la différence de salinité entre les deux parties est et ouest est beaucoup moins nette qu'en Guini, et, sauf sur la bordure nord-est, aucun secteur ne paraît épargné par une salinité croissante.

3.4 - Origines de ces différences de salinité de la nappe entre polders et à l'intérieur d'un même polder

Trois cas sont observés :

Le premier, le moins représenté, est observé dans la corne sud-ouest du polder Guini : la nappe de ce secteur est alimentée par des eaux qui arrivent dans le polder déjà fortement salées (2,5 à 3 m.mhos). Dès les premières années de mise en valeur (1955-58), la nappe de ce secteur s'est avérée salée et le jardin administratif implanté là fut déplacé vers le nord,

vers Matafo. Depuis lors, cette salinité n'a pas augmenté car les eaux sont évacuées en partie vers le nord-est et par ailleurs les sols ont "absorbé" une partie des sels.

Le deuxième, plus représenté, est observé dans toute la partie centrale de Guini : la nappe est alimentée par des eaux d'infiltration qui arrivent au niveau du polder faiblement salées (0,5 m.mho) ; elles arrivent sur la bordure ouest du polder ; la nappe présentant dans cette zone une pente ouest-est, une partie des sels est entraînée vers l'est du polder ; après dix années de culture, la nappe est restée peu salée dans la partie ouest et est devenue très salée dans la partie est.

Le troisième, est observé sur l'ensemble du polder Bérin : la nappe est alimentée par des eaux d'infiltration faiblement salées, qui semblent arriver sur la bordure est, la plus proche du lac, mais l'augmentation de salinité qui résulte de l'évaporation se répartit sur l'ensemble du polder, en particulier dans les zones qui sont les plus souvent dénudées, cultivées.

L'absence de pente latérale nette de la nappe explique cette répartition presque homogène, par simple diffusion des sels.

Du point de vue de l'évolution de la fertilité, considérée comme liée à l'évolution de la salinité de la nappe, le polder Guini possède donc un atout que n'a pas le polder Bérin : en Guini, la bordure est sert "d'abcès de fixation" à la bordure ouest : cette dernière est assurée de garder longtemps une bonne fertilité parce que la première accumule une bonne part des sels. En Bérin par contre, aucune zone n'est épargnée (sauf peut-être la corne nord-est) par une salinisation de la nappe lente mais régulière.

Les chiffres d'augmentation annuelle de la salinité de la nappe, dans les diverses parties du polder, paraissent, d'après toutes les observations, de l'ordre suivant (exprimés en conductivité et en grammes de sel par litre) ; ces chiffres sont évidemment fournis à titre indicatif :

GUINI	bordure ouest	: moins de 0,1 m.mho/an (0,07 g de sel/litre),
	partie ouest	: 0,1 à 0,2 m.mho/an (0,07 à 0,13 g/litre),
	bordure est	: environ 1 m.mho/an (0,64 g/litre),
	corne sud-ouest	: 0,2 m.mho/an,
	nord	: 0,2 à 0,3 m.mho/an (0,13 à 0,19 g/litre).
BERIM	corne nord-est (en bordure)	: moins de 0,1 m.mho/an,
	corne nord	: environ 0,2 à 0,3 m.mho/an,
	centre	: environ 0,3 m.mho/an,
	jardin de Bol	: 0,2 m.mho/an.

3.5 - Salinité du sol

Lorsque la salinité du sol, donc de la solution du sol, dépasse un certain seuil, la pression osmotique de cette solution devient trop élevée pour que la plante puisse prélever l'eau dont elle a besoin ; par ailleurs, l'action de certains ions est défavorable au développement végétatif des plantes. Les sols de Bol ont, de ce point de vue, un avantage : les sols les plus salés sont à dominance de sulfates : or pour un même niveau de salinité, les sulfates sont moins néfastes au développement des plantes que les chlorures (très peu représentés, à Bol) ou les carbonates (représentés, mais très localement).

Pour définir le seuil de salinité du sol au-delà duquel les cultures (de céréales en particulier) dépérissent, est utilisée la notion de poids de sel (en kilogrammes) contenu dans la couche superficielle de 0-20 cm, sur une surface de 1 m². La couche 0-20 cm en effet est celle qui constitue le milieu de germination et qui contient, dans le cas des céréales, la plus grande partie du système racinaire.

Pour les sols de Bol, et pour les cultures de céréales, ce seuil est atteint lorsque la conductivité de l'extrait de saturation du sol, sur les 20 cm superficiels, dépasse 12 m.mhos, c'est-à-dire en % de sel : 0,6 à 0,65 % suivant les sols, et en poids de sel au m², sur 20 cm d'épaisseur : 1 kg de sel.

Ce seuil n'est encore atteint que sur une petite superficie des polders de Bol, 12 % environ de la surface de Guini, localisée en bordure est.

Dans leur localisation géographique, les sols très salés et les nappes très salées coïncident. C'est là un phénomène prévisible : sur toute la superficie des polders, la nappe est suffisamment peu profonde pour que, au moins pendant une partie de l'année, la frange capillaire atteigne la surface, et permette une forte évaporation d'eau déposant les sels. Il en résulte également que tous ces sols sont à accumulation saline de surface.

Les sols des cornes nord des deux polders se comportent un peu différemment : la nappe y est assez profonde (2 m) et ces sols, non irrigués, ne sont plus que très peu utilisés depuis plusieurs années. L'accumulation saline en surface est peu marquée, les sels étant assez répartis sur l'ensemble du profil ; si bien que la teneur en sel de la couche de sol 0-20 cm paraît faible par rapport à celle de la nappe.

Les relations entre salinité de la nappe et salinité du sol, les mouvements de sels dans les profils au cours des diverses saisons ont fait l'objet d'une étude particulière (3) et ne seront que très brièvement résumés ici :

- la remontée saline, et l'accumulation dans la partie superficielle du sol, sont les plus intenses lorsque la nappe est à moins de 50 cm de profondeur et lorsque la surface du sol est dénudée et tassée. Pour les terres de polders, qui ne sont pas submergées temporairement en saison des pluies, cette remontée saline joue en octobre, novembre, décembre (préparation du terrain pour le blé) ;
 - dans les terres temporairement submergées, cette remontée prend place en janvier, février, mars (préparation du terrain pour le maïs) ;
- le lessivage vers la nappe des sels du sol par les eaux de pluie ne présente une signification que dans les secteurs où la nappe est suffisamment profonde ; ce lessivage ne se produit qu'en fin de saison des pluies.

En dix ans, la salinité de beaucoup de sols a augmenté plus rapidement que celle de la nappe correspondante ; la pluviométrie de cette région subaride ne permet pas en effet, en l'absence d'irrigation, un lessivage suffisant des sels du sol vers la nappe.

En fin de saison sèche 1966, la salinité des sols dans les divers secteurs des polders était la suivante :

DANS LE POLDER GUINI :

- bordure ouest (sur 150 m de largeur), renflement de Matafo :
 - sel % entre 0 et 10 cm : 0,15 à 0,25 %,
 - sel % entre 10 et 20 cm : aux environs de 0,05 %.
 soit un poids de sel*/m²/20 cm d'épaisseur, de 150 à 300 g, bien inférieur au seuil de 1 000 g défini plus haut. On peut estimer, à titre indicatif, l'augmentation

* Le principe de ces calculs est rappelé ici : soit L, exprimée en m.mhos, la conductivité de l'extrait de saturation du sol ; le pourcentage de sel dans ce sol est obtenu par la relation :

$$\text{sel \%} = \frac{L \times 0,064 \times Q}{100} \quad (Q \text{ étant le nombre de cm}^3 \text{ d'eau utilisés pour préparer une pâte saturée de 100 g de sol}).$$

$$P \text{ sel dans le sol} = \% \text{ sel} \times P_1 \times d_a$$

$$P_1 = \text{poids d'eau du volume de sol considéré,}$$

$$d_a = \text{densité apparente du sol.}$$

annuelle de salinité à 0,02 % dans la couche 0-10 cm et à 20-25 g de sel/m²/20 cm d'épaisseur.

- partie ouest (bande de 300-400 m de large) : 250 à 350 g de sel/m²/20 cm, augmentation annuelle de l'ordre de 30 g.
- partie est (bande de 200 m de large) : 450 à 700 g de sel/m²/20 cm, augmentation annuelle de l'ordre de 40 à 50 g.
- bordure est (bande de 100 m de large) : 900 à 1 300 g de sel/m²/20 cm, augmentation annuelle de l'ordre de 100 g au moins. Le seuil de salinité compatible avec la culture du blé est dépassé.
- corne nord : 350 à 500 g ; augmentation annuelle non estimée.
- corne sud-ouest enfin : 650 à 750 g de sel/m²/20 cm ; encore inférieur au seuil de 1 000 g, mais ces terres sont déjà abandonnées, par suite de leur caractère alcalin (pH excessivement élevé, supérieur à 9).

DANS LE POLDER BERIM :

- corne nord : 450 à 600 g/m²/20 cm ; augmentation annuelle probablement assez faible (30 g) car ces terres sont à nappe profonde et ne sont plus cultivées, généralement, qu'une fois par an ; un "mulch", couche de sol superficielle sèche, fait écran et ralentit l'évaporation, donc l'accumulation de sels.
- zones centrales, récemment exondées et mises en culture : 350 à 450 g/m²/20 cm ; augmentation annuelle non estimée.
- jardin de Bol : secteur très hétéroaène : 600 à 750 g/m²/20 cm.

Ces chiffres, qui se basent sur les mesures d'extrait de saturation d'un certain nombre de profils, sont indicatifs, mais traduisent bien le caractère plus ou moins grave que présente l'augmentation de salinité du sol sur les 20 cm superficiels pour la fertilité des sols, suivant le secteur considéré du polder. La similitude des secteurs ainsi définis et de ceux définis par la salinité de leur nappe, est évidente.

4 - L'ÉVOLUTION DES RÉSERVES ORGANIQUES ET CHIMIQUES DES SOLS DE POLDERS

Les agriculteurs de la région de Bol n'ont jamais utilisé d'engrais dans leur système de culture. Les exportations d'azote, de phosphore, de potassium par les diverses céréales étant importantes, il est utile d'estimer :

- quel est le niveau en 1966 des réserves organiques et chimiques des sols,
- quelle est la diminution de ces réserves en dix années de culture et combien d'années ces terres pourraient encore être cultivées sans engrais, sans que les rendements des récoltes ne diminuent d'une façon sensible.

Une remarque s'impose au préalable : toutes les terres qui furent cultivées ne le furent pas avec la même intensité. Certaines terres portent régulièrement trois récoltes par an depuis douze ans (le secteur de Matafo, dans Bol-Guini, par exemple) ; à l'autre extrémité de la gamme d'utilisation figurent les terres qui ne sont cultivées qu'une fois par an, en fin de saison sèche, et ce, depuis quelques années seulement, par suite d'un abaissement récent du plan d'eau.

4.1 - Évolution du stock organique des sols de polders

Les observations de BOUTEYRE-LEPOUTRE-GUICHARD en 1955-58, puis celles de PIAS, permettent de définir les premiers stades de cette évolution.

La vase molle au fond du lac, qui constitue le matériau originel des sols des polders, contient 10 à 13 % de matière organique. Cette matière organique est très finement divisée, très liée à la matière minérale argileuse. Au moment où les eaux se retirent, après l'isolement des polders, une masse végétale très dense s'implante, à base de roseaux : Phragmites, Typhacées, Cypéracées. Lors de la première mise en culture, les agriculteurs coupent, laissent sécher, brûlent les roseaux ; mais les racines et les rhizomes restent dans le sol. L'horizon superficiel constitue alors une masse semi-tourbeuse, dont la teneur en matière organique atteint 50 %. Mais après deux ou trois années de culture, cette teneur retombe à 12 %, c'est-à-dire à la teneur du matériau lui-même.

Nos propres observations, de 1964 à 1966, confirment ces données : un prélèvement effectué dans le sud-est du polder Bérin, dans un secteur encore submergé par une nappe d'eau libre permanente, et qui ne fut donc jamais cultivé, donne les chiffres suivants (une végétation dense de roseaux est implantée) : 30 % de matière organique sur les dix centimètres superficiels (litière de feuilles de roseaux mélangée à de la vase) ; puis 9 à 11 % dans le matériau lui-même sur plus de 2 m d'épaisseur. De même, dans la partie est de Guini, dans une zone également couverte d'une végétation permanente de roseaux, les teneurs sont comprises entre 10 et 15 % sur 1 m d'épaisseur.

Dans les secteurs cultivés, les teneurs ont évidemment baissé, mais plus ou moins nettement :

- dans les zones cultivées une seule fois par an, en fin de saison sèche, parce que le reste de l'année le plan d'eau est trop proche de la surface, les réserves de matière organique n'ont que peu baissé depuis la création des polders : 8 à 12 % dans Guini centre-est (profil P.17.6), 9 % en Bérin centre nord (profil P.46.6) ;
- dans les régions cultivées une ou deux fois par an suivant les années et la profondeur du plan d'eau (encore proche de la surface), le stock de matière organique reste compris entre 8 et 9 % ;
- enfin, les zones cultivées trois fois par an, très régulièrement depuis douze ans, ont des teneurs, dans l'horizon de surface (0-20 cm), comprises entre 6 et 9 %, le plus souvent entre 6 et 7 % ; ces chiffres ont été notés sur l'axe Matafo-Rafia Kafia (Guini, centre-nord), et sur la bordure ouest de Guini, et enfin dans le jardin de Bol, en contrebas de cette ville. En dehors des sols situés en bordure des dunes, plus pauvres parce que plus sableux, aucune teneur inférieure à 6 % n'a été observée dans les horizons de surface.

Après plus de dix années de culture intensive (3 récoltes par an, les pailles de blé elles-mêmes étant exportées hors du polder), le niveau des réserves organiques des sols des polders reste donc élevé : 6 à 7 %. Il suffit de rappeler que des teneurs de 1 à 2 %, ou même moins, sont le plus couramment notées dans les autres régions du Tchad. En dix années de culture, on peut donc estimer que le niveau des réserves organiques est passé de 10-13 % à 6-7 %.

Dans les cinq années à venir, les cultures ont peu de chance de souffrir d'un manque de richesse organique du sol. Il serait néanmoins souhaitable de préserver le potentiel actuel, soit en réduisant les exportations hors du polder (les pailles de blé, par exemple, sont encore emmenées sur les dunes) ; soit en essayant, localement, de réenrichir le sol en matière organique : engrais verts, plantes fourragères, jachère améliorée ; il n'est pas possible de préconiser, à l'heure actuelle, une de ces solutions ; chacune devrait être tentée sur des parcelles d'essais, et des rotations sur un même sol prévues.

Signalons enfin la présence, à faible profondeur, dans certaines parties des polders (nord de Bérin notamment), d'un horizon très riche en carbonate de calcium (jusqu'à 50 %). Cet horizon, dont l'épaisseur varie entre 10 et 30 cm, n'est pas induré, laisse aisément passer les racines, mais sa teneur en matière organique est moindre : 4 % environ.

4.2 - Azote, phosphore, potassium

Le taux d'azote des boues du lac est d'environ 6‰, ce qui correspond à un C/N de 10 : en 1966, dans les terres les plus cultivées, le taux d'azote reste aux environs de 3‰ en surface, correspondant à un C/N de 12-13, donc à une matière organique bien évoluée. Dans les parties basses, plus ou moins cultivées, le taux d'azote est de 4‰. Dans les parties basses jamais cultivées entre 4 et 5‰.

Les remarques faites pour la matière organique restent donc valables pour l'azote, en signalant aussi que le pH élevé du milieu et la richesse globale du sol permettent à la matière organique d'évoluer favorablement, au C/N d'être équilibré (compris entre 10 et 14).

Les taux de phosphore total, eux, ont fortement baissé dans les zones les plus cultivées. Rappelons qu'une teneur de P_2O_5 total de 1‰ dans un sol est jugée comme très correcte ; en 1955-58 ces teneurs, pour les sols des polders, se situaient entre 2 et 3‰. En 1966, ces chiffres sont encore observés dans les zones basses, inondées temporairement, cultivées une fois par an ou non cultivées. Dans les zones très cultivées, la teneur en P_2O_5 est variable, comprise entre 1 et 2,5‰. Sur l'axe Matafo-Rafia Kafia par exemple (polder Guini) cette teneur se situe autour de 1‰ et reste donc correcte, sans que les réserves soient importantes.

Le potassium échangeable, un pourcentage de 0,5 à 1 mé pour 100 g de sol est jugé satisfaisant au Tchad. Dans le cas des sols des polders de Bol, l'analyse des bases échangeables s'avère délicate pour des raisons d'ordre technique : ces sols sont à la fois salés et calcaires, et l'extraction des bases échangeables est difficile. Néanmoins, on peut estimer que le niveau du potassium dans les sols de Bol est encore largement suffisant ; des chiffres de 2 à 3 mé dans l'horizon de surface (0-10 cm), et de 0,5-0,7 mé en profondeur, sont observés dans presque tous les sols des polders, en 1966, même les plus cultivés.

Le cas du sodium échangeable sera également signalé. Une proportion trop forte de sodium fixé sur le complexe absorbant entraîne la dégradation de certaines propriétés physiques du sol : structure, perméabilité notamment. Dans les polders de Bol, cette proportion n'est atteinte que dans des secteurs très localisés, le sud-ouest de Guini en particulier, où se sont formés des sols "salés à alcalis", dont la fertilité actuelle est considérablement réduite.

Parmi les bases échangeables, le calcium et le magnésium restent donc, sauf dans le cas précité, très largement dominants, de l'ordre de 20 à 30 me de Ca, de 5 à 10 me de Mg, le rapport Ca/Mg étant le plus souvent compris entre 3 et 5.

Deux conclusions se dégagent de ce bref aperçu sur l'état des réserves chimiques des sols des polders après dix ans de cultures sans apports d'engrais :

- ces réserves chimiques sont encore à un niveau satisfaisant et dans les cinq années à venir, une baisse de rendement des cultures par suite de la déficience d'un des éléments cités : N, P, K, est peu probable ;
- ceci n'est dû qu'au niveau exceptionnel de richesse chimique de ces sols lors de leur mise en valeur. La comparaison des valeurs de 1955-58 et des valeurs de 1965-66 indique que ce "capital" est déjà très nettement entamé ;
- une expérimentation agronomique devrait être entreprise dès maintenant, pour apprécier, sur quelques années, l'action particulière de tel ou tel engrais. Ces essais pourraient être implantés dans le polder Guini, sur l'axe Matafo-Rafia Kafia, à l'est du jardin administratif.

5 - CARTE DES APTITUDES CULTURALES DES DIVERS SECTEURS DES POLDERS

La fertilité d'un secteur donné de polder a été décrite, dans cette note, comme dépendant essentiellement de trois facteurs : le niveau du plan d'eau, le niveau de salinité de la nappe et du sol, le niveau des réserves organiques et chimiques.

Un essai de synthèse de ces diverses données a été tenté, en classant les sols de polders en quatre catégories, d'après les perspectives d'utilisation agronomique qu'ils offrent actuellement, ou pourraient offrir dans les années à venir. Une carte représente l'extension et la localisation de ces diverses catégories de sols (Figure 4).

5.1 - Sols qui n'ont jamais été mis en valeur durant la période 1955-1966

par suite d'un plan d'eau trop élevé (sols inondés en permanence, ou à nappe affleurante toute l'année).

a - SECTEURS NÉCESSITANT UN ABAISSEMENT DU PLAN D'EAU DE 30 A 70 CM AU MOINS pour être mis en valeur

Bérim : 15 %, soit 180 ha
Guini : non représenté en Guini.

durée prévisible d'utilisation : 5 à 7 ans ; la nappe d'eau libre qui recouvre actuellement ces secteurs est salée (conductivité supérieure à 2,25 m.mhos, ou seulement légèrement inférieure). La durée d'utilisation sera donc fonction du mode d'évacuation de cette tranche d'eau salée : si elle disparaissait lentement, par évaporation, les sols auraient un taux de salinité assez élevé dès la mise en valeur ; si une bonne partie de cette eau salée était au préalable rejetée dans le lac par pompage, ce taux serait moins élevé et la durée d'utilisation prévisible plus longue. Bonne aptitude du point de vue organique et chimique.

b - SECTEURS EN VOIE D'ÊTRE UTILISÉS si le plan d'eau baisse encore de 10 à 30 cm

Bérim : 16 %; soit 190 ha*
Guini : 13 %; soit 75 ha.

durée prévisible d'utilisation avec le système traditionnel : 5 à 7 ans au plus, car la salinité de la nappe est supérieure à 2,25 m.mhos. Bonne aptitude du point de vue organique et chimique.

5.2 - Sols qui n'ont jamais été que partiellement utilisés, c'est-à-dire qui ne portent qu'une seule culture par an, en fin de saison sèche, par suite d'un plan d'eau encore très proche de la surface.

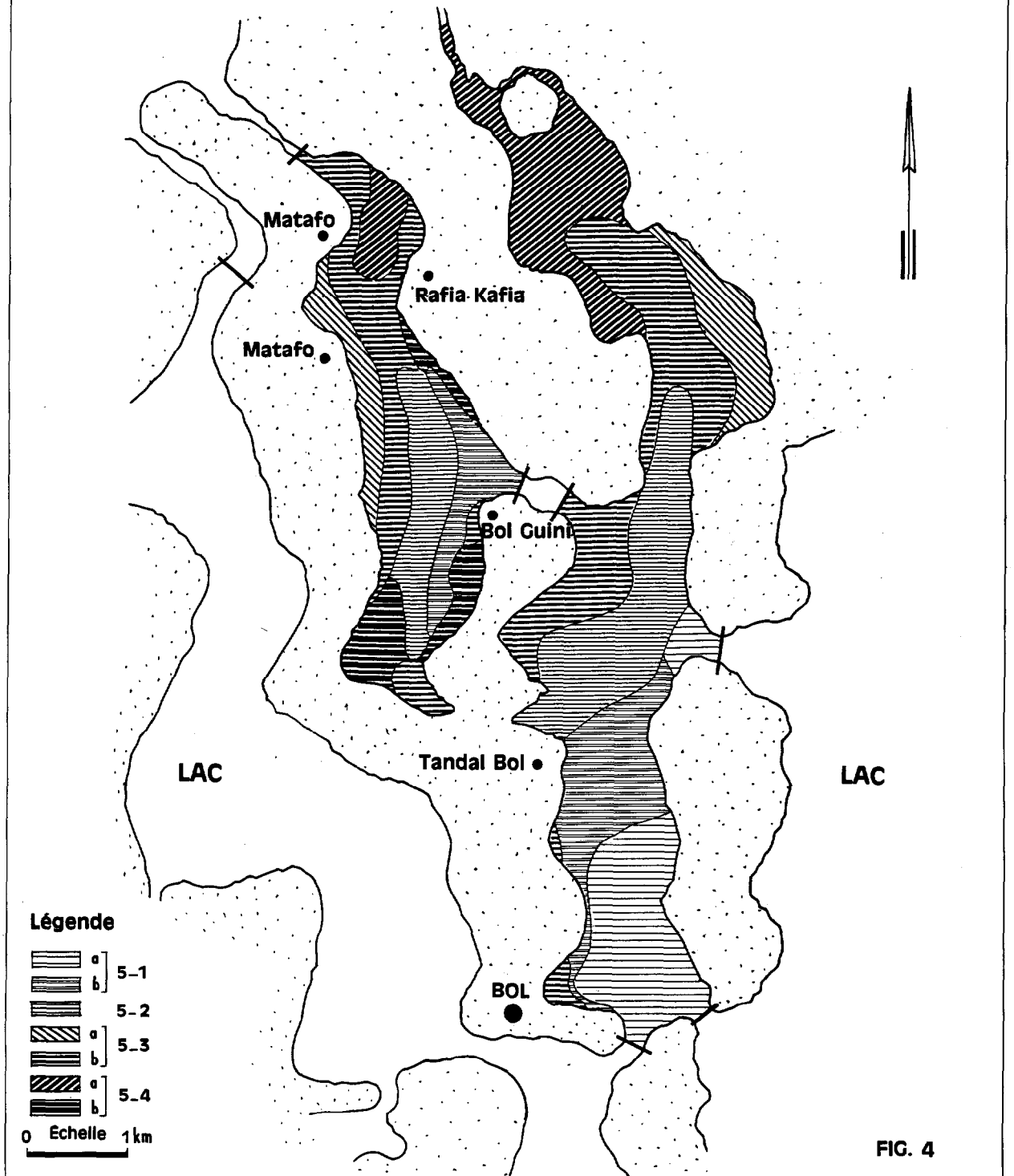
Bérim : 20 %, soit 242 ha
Guini : 19 %, soit 108 ha.

durée prévisible d'utilisation en Guini : 5 à 10 ans (nappe dont la conductivité est comprise entre 1 et 3 m.mhos) ; en Bérim : 5 à 7 ans (nappe de 1,5 à 3,5 m.mhos). Bonne aptitude du point de vue organique et chimique. Pourraient porter trois cultures par an en cas d'abaissement du niveau de la nappe, de l'ordre de 30 à 50 cm.

* Toutes les estimations de surface sont approximatives, à 10 ha près environ.

POLDERS DE BOL GUINI ET DE BOL BERIM

Carte des aptitudes culturales



5.3 - Sols qui sont actuellement très utilisés

Deux à trois cultures par an : plan d'eau favorable à cette utilisation quasi permanente : niveau de la nappe compris entre 20 et 200 cm suivant l'endroit considéré et la période de l'année ; irrigation nécessaire, ou souhaitable, au moins lors de certaines phases du développement végétatif du blé (germination, épiaison) et du maïs de fin de saison sèche.

a - SECTEURS DONT LA FERTILITÉ ACTUELLE DES SOLS EST EXCELLENTE

Secteurs qui pourraient encore être utilisés, du point de vue de leur salinité, pendant encore au moins dix ans, même en l'absence d'aménagement hydro-agricole : apport d'engrais éventuellement nécessaire après 5 ans.

Guini	: 16 %, soit 90 ha,
Bérin	: 7 %, soit 84 ha.

b - SECTEURS DONT LA FERTILITÉ ACTUELLE DES SOLS EST MOYENNE

Secteurs qui ne pourraient guère être utilisés au-delà de 5-7 ans, le seuil de salinité (1 000 g de sel/m²/20 cm d'épaisseur) étant atteint alors.

Guini	: 30 %, soit 173 ha,
Bérin	: 27 %, soit 325 ha.

5.4 - Sols qui sont ou ont été très utilisés, mais dont l'intensité d'utilisation diminue

a - SECTEURS QUI NE SONT PLUS QUE PEU CULTIVÉS, OU MÊME ABANDONNÉS PAR SUITE D'UN PLAN D'EAU JUGÉ TROP PROFOND

Guini	: 8 %, soit 45 ha,
Bérin	: 15 %, soit 181 ha.

La nappe descend à 2 m ou plus ; l'irrigation avec le système des "chaddouts" n'est pas ou n'est plus pratiquée ; la nappe est salée (conductivité supérieure à 2,25 m.mhos) et les sols également ; une reprise de la culture, avec irrigation au chaddouf, est souhaitable, sachant néanmoins qu'alors, au bout de 5 ans environ, le seuil de salinité serait atteint.

b - SECTEURS QUI NE SONT PLUS UTILISÉS PARCE QUE LE SEUIL DE SALINITÉ EST DÉJÀ ATTEINT OU PRÈS D'ÊTRE ATTEINT

Guini	: 14 %, soit 76 ha,
Bérin	: 0 %.

Aucune possibilité de cultiver à nouveau ces secteurs avec le système de culture traditionnel actuel.

CONCLUSIONS

Dix années de culture traditionnelle ont entraîné une diminution de fertilité des sols des polders de Bol :

- le niveau des réserves en matière organique et en éléments chimiques (N, P) de ces sols a diminué de façon sensible : ainsi, dans les terres très cultivées, le taux de matière organique est tombé de 10-13 % à 6-7 %.

- le niveau de salinité du sol, dans certains secteurs, a dépassé le seuil au-delà duquel la culture des céréales devient très difficile. Ce seuil a été chiffré à 1 000 g de sel par m², sur la tranche de sol superficielle de 20 cm, la plus exploitée par les racines.

Mais, durant cette période, ces deux facteurs : appauvrissement chimique et salinisation progressive de la nappe et du sol, n'ont pas été les obstacles les plus sérieux à une mise en valeur plus complète des polders.

- En effet, les réserves organiques et chimiques se sont toujours avérées satisfaisantes, d'un niveau nettement plus élevé que celui de la plupart des sols du Tchad, et c'est encore le cas en 1966.

- Par ailleurs, la superficie des terres déjà perdue pour la culture des céréales parce que trop salées est encore réduite (14 % de Guini, soit 76 ha).

Par contre, l'obstacle principal fut la difficulté de maîtriser le plan d'eau. Ce plan d'eau, fréquemment trop proche de la surface, a notablement réduit les possibilités d'utilisation des sols durant ces dix dernières années.

Dans le cas où le système de culture traditionnel (sans apport d'engrais, sans mise en place d'un réseau de drainage associé à un réseau d'irrigation avec les eaux du lac Tchad) serait conservé dans les années à venir, l'expérience des dix années passées autorise les remarques suivantes :

- le niveau des réserves organiques et chimiques du sol est encore suffisant pour estimer que, durant les cinq années à venir, les rendements des cultures ne subiront pas de chute par suite de manque d'azote, de phosphore, de potassium, de matière organique ; il n'en est pas de même au-delà de ces cinq ans ; un programme d'expérimentation agronomique serait donc à envisager dès maintenant.

- le pourcentage des terres abandonnées parce que trop salées ne peut qu'augmenter, puisque les eaux ne sont pas évacuées hors du polder. Quelques chiffres seront rappelés ici : une nappe phréatique dont la conductivité dépasse 5 m.mhos entraîne en 2-3 ans une salinité de la couche superficielle de sol qui approche ou dépasse le seuil au-delà duquel la culture des céréales n'est plus possible (1 000 g/m²/20 cm) ; une nappe phréatique de conductivité comprise entre 2,25 et 5 m.mhos, peu profonde, paraît devoir entraîner en 5-7 ans une salinité du sol qui approche ce même seuil.

La connaissance de la salinité de la nappe dans diverses parties des deux polders, de la vitesse avec laquelle cette salinité évolue, a donc permis d'évaluer le nombre d'années pendant lequel la salinité du sol, en tel ou tel secteur, restera au-dessous du seuil défini.

- le niveau du plan d'eau, et sa maîtrise, s'avèreront encore un facteur très important de la fertilité des sols dans les années à venir. Si les conditions climatiques et hydrologiques (stagnation ou baisse du niveau du lac) n'entraînent pas d'elles-mêmes un abaissement de 10 à 30 cm de ce plan d'eau, le pompage des nappes d'eau libre du polder Bérin devrait être repris. Cet abaissement entraînerait évidemment une augmentation de la superficie des terres où la nappe est à plus de 2 m de profondeur, c'est-à-dire poserait de manière plus vive encore le problème de l'utilisation par les agriculteurs locaux, des sols à nappe assez profonde.

D'après les dernières observations (novembre 1966), cet abaissement de 10-30 cm sera probablement réalisé, de par les conditions naturelles, au cours de la saison 1967. Si les agriculteurs locaux prennent le parti de se déplacer vers les parties basses des deux polders, ils se cantonneront alors aux terres les plus sensibles à la salinisation.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - BILLON (B.), CALLEDE (J.), SABATIER (J.) - 1963 - Etude hydroclimatologique des polders de la région de Bol. Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy, 69 p., multigr.
- 2 - BOUCHARDEAU (A.), LEFEVRE (R.) - 1957 - Monographie du lac Tchad. Tome I. O.R.S.T.O.M.-C.S.L.T., Fort-Lamy, 112 p., multigr.
- 3 - CHEVERRY (C.) - 1965 - Caractérisation pédologique des sols des polders de Bol (lac Tchad). Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy, 120 p., multigr.
- 4 - DIELEMAN (P.J.), DE RIDDER (N.A.) - 1963 - Expertises sur les mouvements des eaux et du sel dans les polders de Bol Guini, République du Tchad. Institut international pour l'amélioration et la mise en valeur des terres, Wageningen, 52 p., multigr.
- 5 - GUICHARD (E.), BOUTEYRE (G.), LEPOUTRE (B.) - 1959 - Etude pédologique des polders de Bol et Bol Guini. Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy, 72 p., multigr.
- 6 - PIAS (J.), BARBERY (J.) - 1960 - Evolution de la salinité dans le polder de Bol-Guini. 1959-1960. Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy, 106 p., multigr.
- 7 - PIAS (J.), BARBERY (J.) - 1961 - Evolution de la salinité dans le polder de Bol-Guini. 1961. Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy, 58 p., multigr.
- 8 - PIAS (J.), SABATIER (J.) - 1964 - Etude des variations des taux de matière organique, d'azote et de la salinité dans les polders du Lac Tchad. Campagne 1962. Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy, 144 p., multigr.
- 9 - O.R.S.T.O.M. Centre de Fort-Lamy - 1965 - Etude des variations des taux de matière organique, d'azote et de la salinité dans les polders du Lac Tchad. Campagne 1963. Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy, 97 p., multigr.
- 10 - O.R.S.T.O.M. Centre de Fort-Lamy - 1965 - Données climatologiques concernant la région de Bol durant les années 1963 et 1964. Centre O.R.S.T.O.M. de Fort-Lamy, 16p., multigr.
- 11 - SOGETHA - 1963 - Etude d'un polder expérimental dans la région de Bol. Etudes préliminaires. Rapport de synthèse. Avant-projet. SOGETHA, Paris, 139 p.